

磁気共鳴イメージングにおけるノイズパワースペクトルとその計測

著者	一関 雄輝
号	85
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	医博（保）第18号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00097203

(書式12)

氏 名	いこのせき ゆうき 一関 雄輝
学 位 の 種 類	博士 (保健学)
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 25 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項
研 究 科 専 攻	東北大学大学院医学系研究科 (博士課程) 保健学 専攻
学位論文題目	磁気共鳴イメージングにおけるノイズパワースペクトルとその計測
論文審査委員	主査 教授 町田 好男 教授 本間 経康 教授 齋藤 春夫

論 文 内 容 要 旨

画像診断装置の発展とともに、医用画像に関する多くの画質評価指標も開発されてきた。そのなかでもノイズパワースペクトル (noise power spectrum: NPS) は、画像ノイズの周波数特性を表し、詳細なノイズ評価を可能とするものである。しかしながら、磁気共鳴イメージング (magnetic resonance imaging: MRI) において、 k 空間データを均一に収集する従来の直交収集法では NPS がフラットな特性を持つことが自明であるため、NPS が画質評価に使用されることがほとんどなかった。

新しい MRI 撮像シーケンスが数多く開発されてきている中で、近年実用化が進んでいるプロペラ法は、ブレードとよばれる帯状領域からなる固有の k 空間軌跡をもち、 k 空間データを不均一に収集する撮像法である。この場合の NPS 特性は自明なものでないため、 k 空間軌跡による画質への影響を考える上でも NPS によるノイズの周波数評価は重要であると考えられる。

また、2 次元画像の画質評価では、NPS も、画像と同じ次元で計測された 2 次元分布のまま利用することが望ましいが、実際の計測ではノイズの数値解析が容易な 1 次元 NPS がしばしば利用されている。数種ある 1 次元 NPS 計測法にはそれぞれ特徴があり、同じノイズ成分を評価する場合でも計測方法の違いによって 1 次元 NPS の特性が異なる。さらに、2 次元 NPS の情報を 1 次元の情報として表すため、欠落する情報が存在する。したがって、求めた 1 次元 NPS には 2 次元 NPS のどの部分が反映されてどの部分の情報が縮退しているのかを明らかにすることは、適切なノイズ評価を行うために重要であり、MRI に適した NPS 計測法の確立にもつながると考えられる。

そこで、本研究ではプロペラ法を例に、不均一なデータ収集を行った場合の MR 画像の NPS 特性を検討すること、1 次元 NPS と 2 次元 NPS の関係を明らかにし、MRI において適切な NPS 計測法を考察することを目的とした。

実際の検討としては、同一条件で撮像したプロペラ MR 画像の差分ノイズ画像をフーリエ変換して 2 次元 NPS を求めた。また、2 次元 NPS の原点を中心にした同一円周上の NPS 値を平均する「円周平均法」と、ノイズ画像上に設定した数ピクセルの長さをもつ仮想的なスリットの走査により求めたノイズプロファイルをフーリエ変換する「仮想スリット法」により求めた 1 次元 NPS を比較した。さらに、仮想スリット法について、スリット走査領域の 2 次元 NPS を求め、その NPS 値特性と 1 次元 NPS を比較した。

その結果、プロペラ MR 画像の 2 次元 NPS は k 空間軌跡と一致した形状を示した。2 次元 NPS において、ブレード重複数が 1 の領域と比較した NPS 値は重複数が 2, 3, 5 となるとそれぞれ

(書式 1 2)

50.4%, 33.0%, 20.4% となり、ブレード重複数の逆数に比例したため、MR 画像の NPS は k 空間データサンプリング密度を反映しているといえた。さらに、2 次元 NPS はプロペラ法の動き補正処理やフィルタ処理等の画像再構成処理の一部を視覚的に表すことが可能であった。また、各周波数域の平均 NPS 値を表す円周平均法の 1 次元 NPS に対し、仮想スリット法による 1 次元 NPS はスリット走査方向の NPS 値特性を示し、方向別のノイズ評価が可能であった。しかしながら、仮想スリット法の 1 次元 NPS は、スリット長に依存して圧縮されたスリット走査領域の 2 次元 NPS の中心線プロファイルと一致しており、スリット設定条件によって NPS 特性が変化することがわかった。

本研究結果から、不均一なデータ収集を行った場合の MR 画像においても、実際の画質評価に NPS を利用することにより従来の直交収集法との違いからノイズ特性を評価できると考えられた。収集の自由度が大きい MRI ではデータ収集法や評価目的に応じた NPS 計測法を選択する必要があるが、MRI において NPS は最新の撮像法にも対応できる詳細なノイズ評価指標になる可能性が示唆された。

審査結果の要旨

博士論文題目 磁気共鳴イメージングにおけるノイズパワースペクトルとその計測

所属専攻・領域名 保健学専攻 医用情報技術科学領域

学籍番号 B3MD3002 氏名 一関 雄輝

ノイズパワースペクトル（noise power spectrum: NPS）は医用画像のノイズの周波数特性を表し詳細なノイズ評価を可能とするものであるが、最も標準的な撮像法により得られた MR 画像の NPS がフラットな特性を持つため、これまで画質評価に使われることはなかった。本論文は、新しい MR 高速撮像における NPS が必ずしも自明でない特性を持つことに着目して、詳細な検討をおこなったものである。

一般に 2 次元画像の画質評価では、画像と同じ次元で計測された 2 次元 NPS をそのまま利用することが望ましいが、ノイズの数値解析・定量的解析を簡便に行うためには 1 次元 NPS が有用である。したがって、1 次元 NPS では、2 次元 NPS の情報のどの部分が反映されてどの部分が縮退しているのか、それを明らかにすることは適切なノイズ評価を行うために重要なことである。そこで本研究では、放射状に配置された複数の帯状領域からなる特徴的なデータ収集軌跡をもつプロペラ法を例に、不均一なデータ収集を行った場合の MR 画像の NPS 特性を検討すること、1 次元 NPS と 2 次元 NPS の関係を明らかにし MRI に適した NPS 計測法について考察することを目的とした。

実際の検討としては、はじめに標準的な方法で 2 次元 NPS を取得し、次に原点を中心とする円周上の NPS 値を平均して 1 次元 NPS を算出する「円周平均法」と、ノイズ画像上の仮想スリットの走査から 1 次元 NPS を算出する「仮想スリット法」を比較した。さらに、スリット走査領域の 2 次元 NPS を求め 1 次元 NPS と比較した。その結果、MR 画像の 2 次元 NPS は k 空間軌跡の形状と一致し、 k 空間データサンプリング密度を反映していることを確認できた。また、いくつかの 1 次元 NPS 計測法の特徴や 1 次元と 2 次元 NPS 特性の関係を明らかにすることができた。

本研究の結果から、様々なバリエーションを持つ最新の MR 撮像技術において、NPS が有用な画像のノイズ特性指標となる可能性が示されたと考えられる。また、本研究結果はこれまでに培われてきた医用画像一般の NPS 計測あるいは NPS 指標についての理解を深める一面を持つ。このように本研究は、NPS を MRI の画質評価指標として用いるための基礎固めを行った有意義な研究であると認められた。

よって、本論文は博士（保健学）の学位論文として合格と認める。